SUPPLÉMENT A LA NOTICE

SUR LES

TRAVAUX ET TITRES SCIENTIFIQUES

DE

M. E. BOUTY,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

(1897-1906).

TOURS,

DESLIS FRÈRES, IMPRIMEURS,

6, Rue Gambetta, 6.

1906

SUPPLÉMENT A LA NOTICE

SUR LES

TRAVAUX ET TITRES SCIENTIFIQUES

DE

M. E. BOUTY.

SUPPLÉMENT A LA NOTICE

SUR LES

TRAVAUX ET TITRES SCIENTIFIQUES

DE

M. E. BOUTY,

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS.

(1897-1906).

TOURS,

DESLIS FRÈRES, IMPRIMEURS,

6, Rue Gambetta, 6.

—

1906

NOTICE

SUR LES

TRAVAUX ET TITRES SCIENTIFIQUES

DE

M. E. BOUTY.

SUPPLÉMENT (1897-1906).

J'ai publié en 1897 une *Notice* qui appelle aujourd'hui un *Supplément*.

Parmi les recherches originales que j'ai poursuivies depuis cette époque, je dois signaler surtout celles qui se rapportent à l'étude du passage brusque de l'électricité à travers les gaz (effluve ou décharge disruptive). Ce sujet, que je suis loin d'avoir épuisé, touche à la constitution même de la molécule et de l'atome, sur laquelle son étude jettera, tôt ou tard, une vive lumière. Les questions qui touchent aux rapports de la matière et de l'électricité préoccupent tout particulièrement aujourd'hui le monde savant. Quelques-uns des résultats que j'ai obtenus ne peuvent manquer d'intéresser ceux auxquels cet ordre de questions est familier.

Le laboratoire que j'ai l'honneur de diriger et où se sont formés, sous ma direction, des savants tels que MM. Daniel Berthelot, Brunhes, Carvallo, Dongier, Mathias, L. Poincaré, etc., a continué à faire preuve d'une grande activité scientifique. C'est là qu'en 1903 ont eu lieu, sous le patronage de l'Académie des Sciences, les expériences contradictoires de MM. Pender et Crémieu, dont le résultat a été d'établir d'une manière définitive l'existence du champ magnétique et des phénomènes d'induction dus à la convection électrique. Qu'il me soit permis de signaler aussi les thèses de doctorat de M. Sagnac (aujourd'hui chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris), *sur les rayons secondaires développés par les rayons X* (1901); de M. Langevin (aujourd'hui professeur adjoint au Collège de France), *sur les*

gaz ionisés (1902); de M. Lamotte, *sur les oscillations hertziennes d'ordre supérieur* (1902); enfin de M. Rothé, *sur la continuité de la polarisation et de l'électrolyse* (1904). Je reviendrai en quelques mots sur ce dernier travail, qui apporte une confirmation importante et originale à l'un de mes travaux antérieurs.

Nouvelle méthode pour la mesure de l'intensité des champs magnétiques.

L'Éclairage électrique, t. XV, p. 89, 440 et 441. — *Journal de Physique*, 3e série, t. VII, p. 253. — *Société de Physique*, 18 février 1898. — *Annales télégraphiques*, 1899. — *Comptes Rendus*, t. CXXXVI, p. 238.

Le phénomène auquel j'ai recours est l'induction réciproque de l'action électromagnétique exercée par un champ magnétique sur un élément de courant, action utilisée par M. Lippmann dans son curieux galvanomètre à mercure.

Un liquide conducteur, qui sera simplement de l'eau de rivière, s'écoule par un ajutage plat, normalement aux lignes de force du champ à mesurer. On détermine, à l'aide de l'électromètre capillaire de M. Lippmann ou par la décharge d'un condensateur sur un galvanomètre balistique, la différence de potentiel entre deux électrodes métalliques en relation avec la face supérieure et la face inférieure de la veine. Cette force électromotrice, proportionnelle au champ, est aussi proportionnelle à la vitesse d'écoulement du liquide; d'où il suit qu'*on peut rendre la méthode aussi sensible qu'on le voudra*, pourvu qu'on dispose d'une pression d'eau suffisante.

On reconnaît aisément qu'en dehors de la mesure de la force électromotrice induite, qui, étant continue, se mesure sans la moindre difficulté, on n'a besoin, pour calculer le champ en valeur absolue, que de connaître le débit de la veine plate et son épaisseur, dirigée suivant les lignes de force magnétique. Après avoir discuté complètement le principe de la méthode, je l'ai appliquée notamment à la graduation d'un ampèremètre, à la mesure de la quantité absolue de magnétisme et à la détermination des pôles d'un aimant permanent, enfin à l'étude complète du champ d'un électro-aimant de Faraday. J'ai pu rendre sensibles des champs de 0,3 C. G. S., c'est-à-dire de l'ordre de grandeur du champ magnétique terrestre, et pous-

ser les mesures jusqu'à 2.300 C. G. S. Il serait facile d'aller encore plus loin dans les deux sens.

Une tentative, réalisée grâce à l'obligeance de MM. les ingénieurs Resal et Equer au barrage de Suresnes, en vue d'utiliser le cours de la Seine comme veine liquide, et de mesurer, par la différence de potentiel entre les deux rives, la composante verticale du champ magnétique terrestre, n'a pu aboutir complètement par suite des perturbations de toute espèce, dues surtout au voisinage d'importantes canalisations électriques. L'idée de montrer l'induction exercée sur un cours d'eau remonte d'ailleurs à Faraday, qui chercha en vain à utiliser dans ce but le renversement périodique du cours de la Tamise sous le pont de Londres.

Études sur la cohésion diélectrique des gaz (1899-1906)

Les gaz raréfiés possèdent-ils la conductibilité électrolytique ? *Comptes Rendus*, t. CXXXIX, p. 152. — Les gaz raréfiés sont-ils des électrolytes? *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 10, et *Société de Physique*, 1900.

Sur la cohésion diélectrique des gaz, *Comptes Rendus*, t. CXXIX, p. 204; t. CXXXI, p. 443; t. CXXXVI, p. 40. — Cohésion diélectrique et champs explosifs, *Comptes Rendus*, t. CXXXI, p. 469. — Sur la cohésion diélectrique des gaz et des vapeurs, *Ibid.*, p. 503. — Sur la cohésion diélectrique des gaz; influence de la paroi, *Ibid.*, t. CXXXIII, p. 213. — Sur la cohésion diélectrique des gaz, *Journal de Physique*, 4e série, t. II, p. 401.

Les gaz envisagés comme diélectriques, *Rapports au Congrès international de Physique*, t. II, p. 341.

Sur la cohésion diélectrique des mélanges gazeux, *Comptes Rendus*, t. CXXXVI, p. 669. — Cohésion diélectrique de l'argon, *Ibid.*, t. CXXXVIII, p. 616. — Cohésion diélectrique des mélanges, *Journal de Physique*, 4e série, t. III, p. 489 et 593.

Cohésion diélectrique et température, *Comptes Rendus*, t. CXXXVI, et *Journal de Physique*, 4e série, t. III, p. 12.

Cohésion diélectrique de la vapeur de mercure et de ses mélanges, *Comptes Rendus*, t. CXXXVIII, p. 1691; *Journal de Physique*, 4e série, t. IV, p. 317.

Passage de l'électricité à travers des couches de gaz épaisses, *Comptes Rendus*, t. CXLI, p. 312. — Passage de l'électricité à travers des couches de gaz épaisses; loi de Paschen; application à la haute atmosphère, *Journal de Physique*, 4e série, t. V, p. 219.

Généralités; méthodes. — Les gaz raréfiés sont-ils des électrolytes? Telle était, en effet, la question qu'on pouvait se poser vers 1899. Si, d'une part, depuis les recherches de Coulomb, les gaz à la pression ordinaire ont toujours été considérés comme les types les plus parfaits de corps isolants, si Boltzmann est parvenu à mesurer leur pouvoir inducteur spécifique

en employant des pressions comprises entre une atmosphère et quelques millimètres de mercure, d'un autre côté M. J.-J. Thomson, l'illustre professeur de Cambridge, avait cru réussir à mesurer la conductibilité de gaz très raréfiés, grâce à l'induction développée par le passage d'une décharge de bouteille de Leyde à travers une spire de fil enveloppant le ballon à gaz. Il trouvait des conductibilités du même ordre que celle de la dissolution d'acide sulfurique de conductibilité maximum. On savait aussi que, sous l'action des rayons X et des corps radioactifs, les gaz pouvaient acquérir momentanément une conductibilité électrique, même à la pression ordinaire.

L'abaissement de la pression, poussé à un degré convenable, suffisait-il, à lui seul, à produire la conductibilité, et celle-ci était-elle de la même nature que la conductibilité de l'eau acidulée, à laquelle J.-J. Thomson la comparait ? Il me parut qu'il devait être facile de répondre à ces questions grâce à l'emploi de la méthode suivante.

Si, entre les plateaux d'un condensateur, on interpose un conducteur, soit métallique, soit électrolytique (par exemple un ballon plein d'eau acidulée), la capacité du condensateur augmente aussitôt, comme si on avait rapproché ses deux plateaux d'une certaine quantité. Cette augmentation se produit dans une durée pour ainsi dire infiniment courte, et quelque faible que soit la différence de potentiel établie entre les plateaux du condensateur. J'ai mis cette variation de capacité en évidence en interposant non seulement un ballon plein d'eau acidulée, mais même plein d'un liquide aussi mauvais conducteur que de l'alcool absolu, de l'eau distillée ou de la benzine. Le procédé est donc extraordinairement sensible pour mettre en évidence l'existence d'une conductibilité même très minime.

Or, si l'on met entre les plateaux du condensateur un ballon à gaz raréfié, et si la différence de potentiel employée n'est pas trop considérable, la capacité du condensateur demeure invariable (ou mieux ne subit que la variation insignifiante produite par l'effet des parois diélectriques du ballon). Le gaz raréfié ne possède donc normalement aucune conductibilité électrolytique appréciable. Il est impossible d'assimiler un gaz raréfié à un électrolyte.

Si cependant on fait varier la différence de potentiel entre les plateaux du condensateur et qu'on répète les essais en faisant croître indéfiniment cette différence, on constate que brusquement, à partir d'une différence

de potentiel dont la valeur dépend de la pression du gaz, le ballon à gaz se comporte comme s'il était plein de mercure ou d'eau acidulée : le gaz a livré passage à de l'électricité, il est devenu conducteur. La modification ainsi produite persiste un certain temps et finit par disparaître. Dans le langage introduit récemment en électricité, on dira que le gaz a été ionisé à l'instant du passage de l'effluve. Il perd ensuite progressivement son ionisation et la conductibilité spéciale qui en est la conséquence.

Je ne me suis pas proposé d'étudier l'ionisation, mais seulement la valeur critique du champ pour laquelle le gaz cède brusquement, cessant d'être un diélectrique pour devenir momentanément un conducteur. La limite est, en général, très nette. A la condition de prendre des précautions, d'ailleurs très minutieuses, pour éliminer toute trace de conductibilité des parois des récipients, toute trace d'électrisation permanente à leur surface, on retrouve toujours la même limite, et les mesures de champ critique peuvent être considérées comme exactes à moins de un centième ou de un deux-centième près. *Ce sont des mesures de précision.*

Quand on répète une mesure de champ critique en se plaçant dans l'obscurité absolue, on constate que, chaque fois que le gaz livre passage à de l'électricité (c'est-à-dire chaque fois qu'il y a une variation de capacité du condensateur), le gaz intérieur au ballon s'illumine à l'instant du passage, c'est-à-dire au moment de la charge ou de la décharge du condensateur. La lueur produite a la durée d'un éclair; elle est entièrement confinée à l'intérieur du ballon à gaz raréfié. Le reste de l'espace entre les plateaux du condensateur, occupé par de l'air à la pression atmosphérique, demeure parfaitement obscur. Ce gaz extérieur et les plateaux baignés par lui n'éprouvent aucune modification. En d'autres termes, l'ionisation et la conductibilité temporaire, qui en est la suite, sont exclusivement confinées au gaz intérieur au ballon.

L'observation de l'éclair est beaucoup plus facile que la mesure de variation de capacité à laquelle elle équivaut physiquement. La plupart des mesures définitives ont donc été faites par l'observation de l'éclair. Dans certains gaz, tels que l'argon pur ou la vapeur de mercure, la lueur émise peut être assez vive pour illuminer toute la salle d'expérience. Avec d'autres gaz, tout au moins à très basse pression, la lueur devient parfois assez faible, et ne peut alors être observée que par un œil déjà sensibilisé par un séjour de quelques minutes dans l'obscurité absolue.

Je me suis proposé d'abord de déterminer comment, pour un gaz donné observé sous une épaisseur donnée, le champ critique dépend de la pression. Pour résoudre ce problème et divers autres connexes, j'ai dû d'abord me créer un outillage dont la partie la plus essentielle consiste en une batterie de petits accumulateurs au plomb, construits au laboratoire même. La force électromotrice totale de la batterie est de 17.000 volts.

Le récipient à gaz raréfié est en relation avec une machine pneumatique à mercure pourvue d'une jauge Mac-Leod et avec un manomètre barométrique pour la mesure des pressions inférieures ou supérieures à 1 millimètre; suivant l'épaisseur des couches gazeuses à étudier, les plateaux du condensateur ont un diamètre qui a varié de 30 centimètres à $1^m,70$, l'écartement des plateaux demeurant toujours inférieur au quart de leur diamètre. Dans la région centrale, seule occupée par la masse gazeuse en expérience, le champ peut être considéré comme rigoureusement constant.

Cohésion diélectrique. — La courbe construite en prenant pour abscisses les pressions, pour ordonnées les champs critiques, présente un minimum pour une certaine pression (de quelques dixièmes ou de quelques centièmes de millimètre). Pour des pressions notablement inférieures, le champ critique varie, quand la pression décroît, en raison inverse de la pression et quelquefois du carré de la pression. Pour des pressions notablement supérieures au minimum, le champ critique croît avec la pression d'après une loi hyperbolique. Bientôt l'hyperbole peut être confondue avec son asymptote. Le coefficient angulaire de celle-ci, c'est-à-dire le coefficient du terme proportionnel à la pression, est une constante caractéristique du gaz. Je l'ai nommée sa *cohésion diélectrique*. Elle représente en effet, à un facteur constant près, la résistance opposée par une molécule à la rupture de l'équilibre diélectrique, quel que puisse être d'ailleurs le mécanisme de cette rupture.

J'ai fait des mesures sur un assez grand nombre de gaz et de vapeurs, dans le but de comparer leurs cohésions diélectriques. J'ai pu étudier de très près l'air, l'azote, l'hydrogène, l'oxyde de carbone, le protoxyde d'azote, l'acétylène et d'une façon moins complète la vapeur d'eau, qui, contrairement à un préjugé assez répandu, est un très bon isolant à basse pression, si l'on parvient à éviter la formation d'une couche de buée adhérente aux parois des vases. J'ai pu aussi comparer, d'une manière approchée, les co-

hésions diélectriques de vapeurs organiques qui, attaquant assez rapidement la graisse des robinets, ne se prêtent pas à une étude prolongée, dans les conditions de mes expériences. Enfin, j'ai étudié avec un soin tout particulier l'argon et, grâce à un dispositif spécial, la vapeur de mercure.

Il résulte de cette étude que la cohésion diélectrique ne présente de relation simple avec aucun autre coefficient spécifique connu des gaz.

On remarque :

1° Que les gaz monoatomiques présentent une cohésion diélectrique relativement très petite. Ainsi la cohésion diélectrique de l'argon pur est cinq à six fois plus faible que celle de l'hydrogène. Malgré le poids atomique très élevé de la vapeur de mercure, sa cohésion diélectrique, supérieure à celle de l'hydrogène, est encore inférieure à celle de l'air ;

2° Que plus la molécule est complexe, plus la cohésion diélectrique s'élève. Pour des corps homologues, elle croît avec le poids atomique.

Ainsi, *tandis que la stabilité chimique décroît, la stabilité diélectrique augmente :* les atomes isolés des gaz monoatomiques, si rebelles à toute combinaison, ne peuvent résister à l'action d'une différence de potentiel que supporteraient, sans être altérées, les molécules diatomiques d'un gaz simple de même poids atomique. Un gaz simple diatomique ne supportera pas une différence de potentiel aussi grande qu'un gaz composé à molécule complexe, etc.

Action de la température. — J'ai enfermé dans un ballon de verre, de cristal ou de silice une quantité déterminée de gaz et porté le système du récipient à gaz et du condensateur à toute une série de températures, supérieures ou inférieures à la température ordinaire. A cet effet, j'échauffais l'enceinte, convenablement protégée contre le rayonnement extérieur, à l'aide de résistances électriques fixes, dans lesquelles on lançait un courant variable à volonté ; ou bien je refroidissais le système en faisant vaporiser de l'air liquide dans un serpentin percé de trous, intérieur à l'enceinte. J'ai pu échelonner ainsi un grand nombre de mesures entre — 100° et + 300°.

Le résultat uniforme de toutes ces mesures, c'est qu'aux pressions supérieures à celle qui correspond au minimum du champ critique, *la différence de potentiel critique, par conséquent le champ critique et la cohé-*

sion diélectrique, demeurent absolument invariables. Dans les limites où j'ai opéré, la pression du gaz, à densité constante, varie dans un rapport égal à 3,31 ; la cohésion diélectrique ne varie certainement pas du centième de sa valeur. Ainsi, tandis que la stabilité chimique d'un gaz composé décroît, en général, quand la température s'élève, la stabilité diélectrique demeure absolument invariable, à des quantités près d'un ordre inférieur aux erreurs d'expérience.

Je considère l'invariabilité, avec la température, de la cohésion diélectrique à densité constante, comme une loi capitale. Il n'est en effet que bien peu de propriétés des gaz sur lesquelles la température soit sans influence à densité constante. On ne peut guère citer que l'indice de réfraction.

Remarquons que si, au lieu de mesurer la différence de potentiel nécessaire pour rompre l'équilibre diélectrique à densité de gaz constante, nous laissions librement varier la densité à pression constante, la mesure des différences de potentiel critiques équivaudrait à la mesure des températures absolues. On aurait une sorte de thermomètre électrique à gaz, dans lequel, au lieu d'étudier la variation de la pression, on étudierait celle de la différence de potentiel critique.

Les expériences que je viens de rapporter pourraient être aisément étendues à des températures inférieures à — 100°. Mais, si l'on veut les prolonger dans le sens des températures croissantes, on est arrêté par la conductibilité qu'acquièrent, à haute température, les parois des récipients employés. Avec le verre ordinaire, on ne peut guère dépasser + 100° ; avec un cristal très dur, de qualité exceptionnelle, j'ai pu atteindre environ + 190°, et j'ai dû recourir à un ballon de silice fondue pour atteindre + 300°.

Ce n'est aussi que grâce à l'emploi d'un ballon de silice, et en faisant usage de la loi, précédemment établie, de l'invariabilité de la cohésion diélectrique à densité constante avec la température, que j'ai pu aborder l'étude difficile de la vapeur de mercure.

Interprétation des faits dans la théorie ionique de la décharge disruptive. — Les lois expérimentales que j'énonce sont indépendantes de toute théorie particulière. Ce sont des faits d'expérience définitivement acquis.

Dans la théorie ionique de la décharge disruptive, la cohésion diélectrique correspond à la force vive et, par conséquent, à la vitesse que doit

posséder un électron libre pour que son choc puisse détacher une particule d'un atome. Cette vitesse étant, d'après les calculs de Stark, d'un ordre de grandeur incomparablement supérieur à la vitesse moyenne d'agitation thermique (théorie cinétique des gaz), la vitesse relative de l'électron, par rapport à l'atome qu'il vient ioniser, ne peut être modifiée d'une manière appréciable quand la vitesse d'agitation se trouve avoir varié dans un rapport toujours assez médiocre par une variation de température, par exemple de — 100° à + 300° (ou de 173° à 573° absolus).

Étude des mélanges. — Mais, si certains faits s'interprètent simplement et semblent apporter des confirmations intéressantes à la théorie ionique de la décharge, il en est d'autres qui, sans être visiblement contraires à cette théorie, n'ont pas encore été interprétés par elle : ainsi, la petitesse de la cohésion diélectrique des gaz monoatomiques, et l'espèce d'opposition signalée précédemment entre la stabilité chimique et la stabilité diélectrique.

L'étude des mélanges gazeux va nous fournir d'autres faits curieux et non encore interprétés.

La cohésion diélectrique, qui se conserve en apparence aussi invariable que la densité quand on étudie l'action de la température, va-t-elle aussi se conserver dans les mélanges ? Va-t-on pouvoir calculer la cohésion diélectrique d'un mélange par une simple règle de moyenne, d'après les proportions du mélange et les cohésions diélectriques, supposées connues, de ses éléments ? Oui, dans le cas le plus fréquent, et alors une mesure de différence de potentiel critique équivaut à une véritable analyse quantitative (ex. : hydrogène et oxyde de carbone) ; non, dans d'autres cas, assez voisins en apparence, de mélanges dénués, comme les précédents, d'action chimique (ex. : hydrogène et acide carbonique).

L'argon est particulièrement remarquable sous ce rapport. J'eus d'abord à ma disposition de l'argon contenant, accidentellement, une simple trace d'ammoniaque ; je constatai que la cohésion diélectrique de cet argon, mesurée à densité constante, était bien indépendante de la température quand on échauffait le gaz. Mais, si l'on venait à le refroidir, la cohésion diélectrique, d'abord constante, tombait, entre — 20° et — 50°, à peu près à moitié de sa valeur primitive, et se maintenait ensuite constante jusqu'à — 100°. De deux choses l'une : ou l'argon présentait une variété allotropique stable seulement à basse température, ce qui eût été bien singu-

lier pour un gaz réputé monoatomique, ou bien il contenait une impureté qui, si l'on s'en rapportait aux seuls faits que je connaissais alors, devait exister en quantité considérable, ce qui était tout à fait inadmissible, étant donné l'origine de ce gaz (1). Je refroidis l'argon dans de l'air liquide *en dehors de l'appareil de mesure*, et je constatai, dès lors, qu'il possédait, à la température ordinaire ou à chaud, la faible cohésion diélectrique qu'il ne manifestait auparavant qu'au-dessous de —50°. Le gaz avait donc certainement abandonné une impureté dans le récipient à air liquide, mais en quantité si minime qu'il fut impossible de voir la moindre goutte de liquide dans le tube à condensation. L'impureté n'existait qu'à l'état de simple trace. Je constatai d'ailleurs que l'addition à de l'argon, purifié par refroidissement, d'une trace d'acide carbonique, d'azote, etc., faisait accroître la cohésion diélectrique dans un rapport hors de toute proportion avec la quantité de gaz ajoutée.

J'avais aussi remarqué que l'éclair produit dans l'argon légèrement impur était terne, de couleur sale; tandis que, dans l'argon purifié, l'éclair était d'un beau blanc bleuâtre et d'un très grand éclat. Je fus ainsi conduit à examiner le spectre de l'argon purifié, ou souillé par une trace de gaz étranger. L'argon purifié présente, en particulier, deux beaux groupes, l'un de trois, l'autre de cinq raies bleues qui se brouillent aussitôt que l'on ajoute un gaz étranger. Un voile diaphane semble alors tendu sur tout le spectre, et on y distingue nettement, dans le cas de l'acide carbonique par exemple, les bandes caractéristiques de ce gaz.

De cette observation et de beaucoup d'autres analogues, on est autorisé à conclure que, lorsqu'un gaz ajouté à un autre en proportion minime lui impose en quelque sorte son spectre, il lui impose aussi sa cohésion diélectrique; c'est-à-dire que la cohésion diélectrique du mélange se rapproche beaucoup plus de celle du gaz ajouté que ne le voudrait l'application d'une simple règle de moyenne.

Ainsi *l'expérience établit une relation entre la constitution du spectre produit et la différence de potentiel efficace pour rompre l'équilibre diélectrique*, c'est-à-dire précisément pour rendre le gaz lumineux. Nous devançons ici de beaucoup le stade actuel de la théorie ionique de la décharge. Elle ne pourra rendre un compte exact de ces phénomènes que

(1) Il avait été mis gracieusement à ma disposition par M. Moissan.

le jour où elle englobera une théorie correcte de l'émission lumineuse des gaz traversés par la décharge.

Influence des parois. — Dans tout ce qui précède, nous ne nous sommes occupés que de la partie de la courbe des champs critiques qui correspond à des pressions supérieures à quelques dixièmes de millimètre de mercure par exemple.

On manifeste aisément que l'état et la nature de la paroi exercent une influence marquée sur toute la branche de courbe relative aux très basses pressions. Les différences de potentiel, qui se trouvent efficaces à une certaine pression pour de l'air enfermé dans un réservoir de verre, deviennent insuffisantes si le réservoir est en silice fondue. Avec un même réservoir de verre, elles varieront aussi suivant que le vide aura été fait un plus ou moins grand nombre de fois et maintenu plus ou moins longtemps, ou que le vase aura été porté d'une manière répétée à une température plus ou moins élevée. La température, qui est sans influence sur le champ critique à densité constante aux pressions élevées, exerce au contraire une influence marquée aux pressions très basses.

Les phénomènes observés à très basse pression sont donc sous l'influence de la paroi. On observera un phénomène de plus en plus pur à mesure que, la couche de gaz étudiée étant plus épaisse, l'importance relative de la paroi ou de la couche superficielle de cette paroi susceptible d'absorber du gaz sera moindre. De là l'intérêt d'expériences faites avec des ballons de forme très allongée dans le sens du champ ou des tubes larges dont l'axe est dans la direction du champ.

Observations sur des couches de gaz épaisses. — Quand on étudie des masses de gaz de plus en plus épaisses dans la direction du champ, on constate que la cohésion diélectrique se maintient invariable, mais un second coefficient des formules, celui qui fixe l'ordonnée à l'origine de l'asymptote à la courbe des champs critiques, varie en raison inverse de l'épaisseur de la couche gazeuse soumise à l'expérience.

On déduit aisément de là que la différence de potentiel entre les deux extrémités de la couche gazeuse (produit du champ critique par cette épaisseur) ne dépend que de la masse de gaz intéressée à la décharge, par centimètre carré de section. Si l'on ajoute que la différence de potentiel cri-

tique a été trouvée indépendante de la température, ainsi que nous l'avons vu antérieurement, nous arrivons à cette conclusion que la différence de potentiel entre les deux extrémités d'une couche gazeuse, capable de provoquer le passage de l'électricité à travers la couche, et qui, dans le cas général, dépend à la fois de la pression p, de l'épaisseur e de la couche et de la température absolue T, *ne dépend en définitive de ces diverses variables que par le quotient* $\frac{pe}{T}$, lequel fixe, d'une manière générale, la quantité de gaz totale de la couche par centimètre carré de section. Voilà donc une loi très simple et très générale qui régit le passage de l'électricité à travers les gaz, dès qu'on a affaire à des couches suffisamment épaisses pour que l'influence perturbatrice des parois soit éliminée.

Influence des électrodes; différence de potentiel explosive. — Je rappelle que, dans toutes les expériences qui précèdent, il n'y a pas d'électrodes métalliques. On n'a pas affaire à ce que l'on est convenu d'appeler une décharge électrique proprement dite, mais à une effluve.

Qu'arrive-t-il quand on provoque la décharge entre deux électrodes? Nous supposerons celles-ci assez larges, par rapport à l'épaisseur de la couche gazeuse comprise dans leur intervalle, pour que le champ soit uniforme dans toute la masse gazeuse intermédiaire, ainsi que cela avait lieu dans mes expériences antérieures.

Ces conditions n'ayant, en général, pas été remplies par les expérimentateurs qui ont étudié les distances explosives, et ces distances ayant été choisies beaucoup trop petites pour pouvoir fournir un terme de comparaison utile avec mes expériences, j'ai été conduit à instituer des expériences comparatives pour une même couche gazeuse étudiée, successivement, en présence ou en l'absence d'électrodes.

A cet effet, le gaz en expérience était contenu dans un large tube terminé par des bases planes rodées, que l'on pouvait fermer à volonté, soit par des plaques de verre, soit par des plaques métalliques. Ce tube était placé entre les plateaux d'un condenseur en relation avec la source d'électricité, et il suffisait d'écarter ou de rapprocher les plateaux pour supprimer ou rétablir le contact entre ces plateaux et les bases, métalliques ou non métalliques, du tube.

A la condition de ne comparer entre elles que les expériences au contact

ou que les expériences hors du contact, ce qui supprime quelques complications, et de ne pas dépasser une dizaine de mille volts, j'ai trouvé qu'il est indifférent, pour la valeur de la différence de potentiel efficace, que les bases du tube soient métalliques ou non. S'il n'y a pas contact des bases terminales et des plateaux du condensateur, il y a effluve, c'est-à-dire éclair unique; que les bases soient métalliques ou non, cette effluve se produit à partir de la même différence de potentiel critique. S'il y a contact, on n'observe, avec les bases terminales de verre, que l'éclair ordinaire, lueur en quelque sorte amorphe, remplissant tout le tube. Au contraire, avec les bases métalliques, qui deviennent alors des électrodes proprement dites, on observe les phénomènes ordinaires des tubes de Geissler (décharge continue avec espace sombre cathodique, colonne positive, etc.), mais l'éclair ou la décharge continue se produisent à partir de la même différence de potentiel critique.

Ainsi, *on ne peut douter que le phénomène décisif pour vaincre la cohésion diélectrique ne soit identique, soit qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas d'électrodes*. La rupture d'équilibre se fait dans la masse même du gaz : elle n'est pas imposée par une émission provenant des électrodes. Celles-ci n'interviennent qu'en fournissant à l'afflux continu d'électricité indispensable pour que la décharge commencée puisse continuer.

Cette importante conclusion est bien d'accord, d'une part avec la théorie ionique de la décharge, d'autre part avec le résultat de l'étude spectrale de la décharge faite notamment par MM. Schuster et Hemsalech. En projetant le spectre de la décharge sur une pellicule animée d'un mouvement de translation extrêmement rapide, ils ont constaté que la décharge initiale ne fournit que les raies caractéristiques du gaz; les raies métalliques des électrodes n'apparaissent qu'ultérieurement.

Généralisation de la loi de Paschen. — Un physicien allemand, M. Paschen, étudiant la décharge électrique ordinaire (avec électrodes) à la température du laboratoire, avait annoncé, il y a quelques années, que la différence de potentiel explosive ne dépend que de la masse de gaz intéressée à la décharge et rapportée à l'unité de section. La loi de Paschen n'est qu'un cas particulier de la loi plus générale énoncée ci-dessus, laquelle s'étend à la fois à la décharge avec ou sans électrodes et à toutes les températures.

Application à la haute atmosphère. — Nous avons dit que, quand on opère sur des couches gazeuses de plus en plus épaisses, enfermées dans des récipients, les phénomènes observés sont de plus en plus purs, l'influence propre des parois, sensible surtout aux très basses pressions, se trouvant de plus en plus réduite.

On observe aussi que, dans le cas de couches de plus en plus épaisses de gaz, le champ critique continue de plus en plus longtemps à décroître avec la pression. Son minimum correspond à une pression de plus en plus basse. Il semble que ce champ, minimum pour des couches d'épaisseur indéfiniment croissante, tende vers zéro avec la pression.

Cela posé, considérons les couches d'air extrêmement raréfiées de la haute atmosphère. Le champ qu'il faudrait établir entre deux électrodes très éloignées, pour rompre l'équilibre diélectrique du gaz, doit devenir plus petit que toute quantité assignable, plus petit, par exemple, que ne l'est le champ électrostatique de la terre à la surface du sol. On sait que, normalement, la terre possède une charge négative, et que le champ correspondant, dans les couches atmosphériques inférieures, est de l'ordre de 1 volt par centimètre. A une très grande altitude, une couche d'air de quelques dizaines de mètres d'épaisseur seulement ne pourrait supporter un tel champ : l'équilibre serait rompu, de l'électricité positive libre apparaîtrait dans le gaz et une quantité correspondante d'électricité négative serait refoulée aux limites extrêmes de l'atmosphère. L'électricité positive une fois produite, les mouvements internes de l'atmosphère pourraient la rabattre, avec le gaz qui lui sert de support, dans des couches plus basses où, effectivement, les observation sélectriques faites en ballon révèlent normalement la présence d'électricité positive libre. J'ignorais ce dernier fait quand j'ai été amené par mes expériences à le prévoir.

On voit, par cet exposé très succinct, quelle est l'étendue et l'importance des faits et des lois nouvelles auxquels m'a déjà conduit cette étude. Je compte la poursuivre encore. La matière est singulièrement riche et semble loin d'être épuisée.

Limites de la polarisation et de l'électrolyse. Capacités de polarisation.

Dans ma *Notice* de 1897, j'ai insisté sur la continuité de la polarisation et de l'électrolyse, montré qu'un liquide n'a qu'une seule manière de con-

duire l'électricité, quelles que puissent être les différences de potentiel auxquelles il est soumis, et quelles que soient les réactions particulières dont les électrodes sont le siège.

J'ai montré aussi que le phénomène de la polarisation des électrodes n'est jamais un phénomène réversible ; qu'une électrode polarisée ne peut jamais être assimilée rigoureusement à un condensateur, même à un condensateur qui fuit, car cette électrode éprouve toujours, même dans le cas du platine et du mercure, des altérations durables résultant soit d'une action chimique, soit tout au moins d'une dissolution dans l'électrode des apports matériels du courant. Les quantités d'électricité correspondantes sont récupérables, lors de la destruction de ces combinaisons instables ou de ces dissolutions, et, par suite, toute auge électrolytique qui se polarise équivaut non au système de deux condensateurs qui se chargent ou se déchargent, mais à un système plus complexe, comprenant en outre une sorte d'accumulateur.

Pour obtenir ces résultats, j'avais ralenti le phénomène de la polarisation, tel qu'il se présente le plus souvent, en introduisant dans le circuit une grande résistance.

Dans une thèse remarquable, M. Rothé, mon élève, a étudié la polarisation telle qu'elle se produit dans les conditions vulgaires, en faisant usage de l'oscillographe de M. Blondel. Il a pu ainsi étudier directement la loi de variation de phénomènes dont la durée totale est de l'ordre du centième de seconde, et en obtenir les tracés photographiques. Ses conclusions confirment entièrement les miennes. Il est impossible de manifester aucune ligne de démarcation entre la polarisation et l'électrolyse franche. La courbe de polarisation, par l'hydrogène, du palladium, qui forme avec ce gaz une combinaison définie, ne diffère en rien d'essentiel de la courbe relative au platine ou à l'or. Il y a toujours, et dès le début, superposition d'un effet réversible et d'un effet irréversible. En particulier, dans le cas du mercure, l'effet réversible est proportionnel à la surface de l'électrode ; l'effet irréversible, à son volume.

Je ne pouvais manquer de signaler ici une confirmation aussi remarquable de l'un de mes anciens travaux.

SUPPLÉMENTS AU *COURS DE PHYSIQUE* JAMIN ET BOUTY.

Le *Supplément II*, paru en 1899, se rapporte aux progrès de l'électricité (*Oscillations hertziennes. Rayons cathodiques* et *Rayons X*).

Le *Supplément III*, paru en 1906, se rapporte à l'étude des radiations, aux progrès de l'électricité et aux phénomènes d'ionisation, radioactivité, etc.

Ces deux fascicules, qui mettent à jour les progrès de la science sur ces matières si importantes et si neuves, forment un ensemble de plus de 600 pages. Leur plan est conçu de manière à présenter des chapitres entièrement nouveaux de la physique sous une forme didactique, aisément intelligible pour tous ceux qui ont reçu une instruction supérieure, quels que soient les cours ou les ouvrages dans lesquels ils ont étudié précédemment. De nombreux renvois soit aux volumes de la dernière édition du cours Jamin et Bouty, soit surtout aux Mémoires originaux, sont destinés à faciliter ou à compléter la lecture de ces *suppléments*, de manière à la rendre vraiment fructueuse.

TOURS, IMP. DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.